

路床の性状と舗装 (三)

内務省土木試験所
内務技師 高田昭

四 路床に起る變化と路面の破損

路面が破損するに至る原因中路床の性状に直接又は間接に關係ある變化に基ずくものを精細に觀察すれば諸種なる場合を擧げ得らるるも、就中最も顯著なるものを擧ぐれば在來の砂利道又は土道等に生ずる降雨時の泥濘、鋪装せる道路の路床に起る沈下、容積の變化殊に其の收縮、凍結等なり。之等の變化又は作用は何れも水の影響に依るものにして相互に關聯して起る場合多きも、之を二、三の場合に分ちて次に簡單に説明せん。

泥 濘

道路に生ずる泥濘を見るに砂利を殆ど含まざる土道に生ずるものと砂利道又はマカダム道に生ずるものとは多少其の趣を異にするものなり。前者に在りては道路の表部が多量の水を含有せし爲め其の凝集力及び内部摩擦力を減少すると同時に交通に依りて攪亂さるるが爲めに起るものにして、道路を構成せる材料が不適當なる場合には到底避け難きものなり。然れども後者に在りては泥濘は單に路表に厚き數種の層をなして生ずるに過ぎざる場合多けれども、之れが爲めに交通を難澁たらしむるのみならず間接には路面の損傷を激増せしむる一因となるものなり。

我國に最も廣く存する從來の砂利道又は之れに類する道

路に在りては交通層と路床とを區別し得ざると同時に、交通層の安定は路床土壤の性状に直接影響さるるものなり。従て適度に乾燥せる状態に在りては一般に路床として充分支持力を有し、相當の重交通に耐ゆるものも之れに多量の水分が滲透含有さるときは其の性状に應じて種々なる變化を起すものなり。例へば粘土及淤泥に富む土壤に在りては含水當量及可塑性係數は共に大なるも容易に液性限度に達して流動性となるのみならず、長時間に亘りて其の状態を持續する性能を有するものなれば之等の泥土が泥濘となるに至るなり。

相當固結せる砂利道に生ずる泥濘は主に路表に在る泥土の軟化に依るものなれども、路表に在る泥土には路床土壤の浸出せしもの、他より運搬されたるもの、路面の磨削に依りて生じたるもの、或は之等の混合せしもの等の別あり。而して他より運搬されたるもの及路面の磨削に依りて生ずるものは單に之れを除去すれば泥濘の成生を防止し得る理なり。従て表層が充分固結締合状態に在る道路に在りては

其の路面勾配を適當に維持して排水に意を用ふを以て足る場合多し。比較的新しき道路に於ては勿論、相當に固結せるものに在りても路床土壤が砂利層の間隙より浸出するものあり。而して土壤には自然に賦存する状態に在るときは相當に支持力を有し且水に對しても比較的安定なるものも、含水の状態にて捏ねられたるとき或は一度乾燥して粉碎さるる等其の天然に有する組織を破壊さるときは其の性状を著しく變化するものあり。東京附近の高臺の上に廣く分布する赤土は其の好例にして路床としては相當に支持力を有し、凍結の害は別とするも、滲透水に對しては意外に安定なるも、一度捏ね返へされ或は粉碎又は乾燥されたる後は水に對して極めて不安定なるものに化する性質を有す。路床より浸出する泥土を防止する爲めには、路面に耐水効果を有する處理を施すか、路床上に砂層を置きて泥土の浸出を抑制せしむるか、或は路床上にタール又はアスファルト等を塗布して路床内に水の浸入するを阻止する等の方法あるも之等は土壤の性状に應じて施行すべきものとす。

一般に多量の吸水をなしたる場合に内部摩擦力を激減するも相當に凝集力を保有するものに在りては前記の如き處理方法に依りて相當効果を擧ぐる場合多きも、之れに反して内部摩擦力を有するも凝集力に乏しきものに在りては其の上に盛土をなすか、之れを適當なる土壤にて置換するか、或は適當に濕氣を保持せしめて其の上に交通層を設くる等の方法に依るに非ざれば容易に泥濘の發生を防止し、路面の破損するを防止すること困難なるべし。

相當固結せる在來の砂利道に生ずる泥濘を成る可く減少せしむる方法としては、路面より泥土を除去するか、或は路面勾配を適當に維持すると共に常に小砂利の薄層を置き泥濘の生じたる場合にも之れが路面に迄露はれしめざるを要す。從來の習慣として乾燥時には路面に撒水するも、路面に残存する泥土に水を給すれば其の飛散するを一時防止し得るを以て衛生的其他の方面には多少有効ならんも、之れが爲めに鐵輪を有する交通多き路線に在りては路面を磨損して泥土を生じ易からしむるものにして殊に撒水は一

日中交通量最も多き時間に行はるるものなれば其の影響も亦大なりと云ふべし。

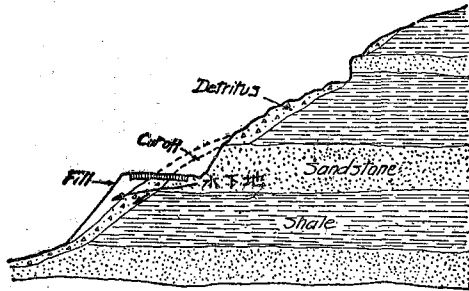
路床の沈下

路床の施工不十分なるに原因して起る鋪裝の破損中路床の沈下に依るもの多し。沈下により鋪裝が明かに陥落して破壞する場合もあれども多くは龜裂を生ずるに止るものなり。而して凝混土基礎層に龜裂を生じたる場合には其の上に設けたる交通層中小鋪石の如き花崗岩と雖基礎層に於けると同様にモルタル目地には無關係に龜裂を生ずるに至るものなり。而して鋪裝中龜裂の爲めに著しく損傷さるるものは凝混土鋪裝にして沈下のみならず其他の性状に依りて影響さるるところ大なるものなり。

路床の沈下は其の支持力の不足に依るものにして、市街地の高級なる鋪裝中に起るものは主に埋設物或は暗渠等の埋戻し不十分なる場合乃至幅員擴張等に依るもの多し。一般に沈下は新設路床に起り易きものにして、其の固結状態、吸水に依る性状の變化等に應じて凝集力又は内部摩擦力を

減するが爲めに起るものなれども、其の副固が地層の状態による場合と盛土に起る場合とあり。

(一) 地層の状態に原因する場合にも種々あれども、古き沼地の如き所殊に相當に水を含む淤泥層或は泥炭層上に築



第十 四 圖

造する場合には盛土の重量にて地盤が沈下するが如きことあるを以て相當の深さ迄爆破して地層の組織を變化せしむるか、或は相當なる深さに迄掘鑿して新しき土壤にて置換する等の方法を行ふに非ざれば沈下を減少せしむること至難なり(本誌十一卷六號海外道路時事參照)。其他

の場合としては水成岩より成る山側に切取を施し切土にて片側に盛土を行ひたる場合に應々帯水層に切込み或は其の

上に盛土せし爲め終に滑出し沈下を起すことあり。

(二) 盛土路床に於ける沈下は最も普通に起るものにして築造の際には相當に轉壓するも完全に締め固むることは相當困難にして道路工事中最も注意を要するものの一なり。

盛土に使用する土砂の種類は千差萬別なるも其の性状に應じて適當なる方法に従ひ施工すべきものとす。

前章に於て略述せし如く土砂の支持力は其の含有する水量に依りて種々に變ずるものにして、一般に或る程度迄の水分は必要とするも其の過剰なる場合は反つて有害となるものなり、恰も混凝土の強度を混水量に依りて決し得るに似たり。

盛土を締め固むる場合の原則としては土砂をして最小限度の空隙を有する迄轉壓するを理想となすも、此の如きは通常の經費を以てしては許され難き場合多く、又實際上方程の施工を必要とせざる場合もあるなり。

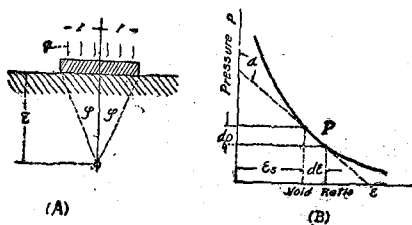
土壤の沈下を理論的に決定する爲めに從來各方面より研究されつゝあるも、土壤の性状を簡單に表はし且他と區別

し得る方法が充分確定せざる現狀に在りては、土壤の沈下現象を適確に表はし得ざるものなり。然れども参考の爲め Terzaghi 氏の説に依る沈下量の算式を擧ぐれば次の如し。

$$S = \frac{a}{1 + e_0} \cdot \left[\frac{q \cdot \cos \phi}{\sin \phi} - \frac{1}{\sin \phi} \right] \cdot \left[\frac{1}{\sin \phi} \cdot \frac{1}{\sin \phi} + 2 \right]$$

但し……沈下量

q, r, ϕ は第十五圖(A)に示すが如し。



第十五圖

a は壓縮係數にして第十五圖(B)に示すが如く壓縮曲線即壓力空隙比曲線中任意の點Pに於ける切線が壓力を示す軸となす角を α とせば

$$\alpha = \frac{de}{dq} = \frac{1}{a}$$

故に此の曲線を實驗的に求むれば前式にて沈下量を算出し得るなり。

一般に盛土の沈下を促進せし

むるが爲めに注意すべき條件は材料の含水状態と轉壓方法とに在り。即可塑性を有する材料に在りては一般に其の可塑性限度又は夫れより稍多き量の水を含有せしめたる場合に最も好結果を得るものなり。而して可塑性限度は主として粘土の含有量に應じて増減するものなり(本誌第十一卷九號三十一頁十一圖參照)。可塑性限度の大なるものは内部摩擦力少ななるも凝集力大にして、可塑性係數も亦大なれば含水量を可塑性限度に近く保持せしむることは相當困難に考へらるるも、此の限度は極めて簡單に現場に於て檢し得るものなれば何人と雖容易に實行し得るものなり。

可塑性に乏しきものは凝集力を殆ど有せざるを以て此の如き土壤を用ひたる場合には僅かに内部摩擦力を頼りとなして締め固めざるを得ず而して之れが轉壓は極めて困難なるも其の表面に相當の剛さを有する殼層を形成せしむる目的を以て砂利其他之れに類するものを敷均し且之れに撒水して轉壓すれば相當の効果をすべきも凝集力に乏しきもの程充分締め固むる要あれば之には相當に經費を要すべし。

以上記せし如く盛土の施工には種々なる困難あるのみならず、相當に締め固めたる後に在りても之れを短時日の間

第二表 盛土に於けるマカダム舗装の厚さ

交通量	路床の種類	盛土の厚さ		
		1 呎以下	1~3呎	3 呎以上
重	粗砂, 小砂利	時 9	時 9	時 9
	ローム	12—15	10—12	10
	粘土	20—24	12—18	10
中	砂, 砂利	7—8	7—8	7—8
	ローム	9—12	9	8
	粘土	15—22	12—15	9
輕	砂, 砂利	5—8	5—8	5—8
	ローム	8—12	8	7—8
	粘土	15—22	10—15	9

に施行せし場合には舗装後に於ても多少の沈下を生ずることとは殆ど免れ難きを以て、一般には盛土路床は一時的砂利

道又は碎石道となし交通に依りて一ケ年間位締め固めしむるを得策とする場合多し。

最後にマカダム舗道の厚さを路床の種類、盛土、交通量等に從ひて決定する標準として一九二〇年米國ニウヨーク州に於て定められたるものを参考の爲め掲ぐれば第二表に示すが如し。但此の表は充分固まれる盛土の場合を示すものにして沈下には無關係なるも、前記の方法に依りて砂利層又は碎石層を設くる場合の参考となし得べし。

路床の收縮

一般に土壤の含有する水分が發散すれば、元液性状態に在りしものも漸次に可塑性状態に遷移し更に水分が減少して可塑性限度を超ゆれば半固態となると共に表面張力に依りて其の容積を減少す。而して收縮作用の起る期間は即水に表面張力の存する期間にして水分が著しく減少して土壤の色が暗色より淡色に變ずる附近、即半固態より固態に遷移する頃迄繼續するものにして、此の收縮の停止する場合の含水量を收縮限度 (Shrinkage limit) と稱す。土壤の收

縮は水の表面張力即毛細管壓力に依りて起るものにして、土壌が液性状態に在るときは毛細管壓力は略零なるも、可塑性状態に至れば數氣壓となり、半固態となるに及びて其の壓力は急激に増加して其の容積を縮小せしむるものにして、水分が或る程度に迄減少して毛細管壓力が消失するに至る迄は壓縮が繼續するなり。此の作用は從來築堤等の沈下を促進せしむる場合に應用さるるものなり。含水量と容積の變化との間には次の如き簡單なる關係あり。

$$s = \omega - \frac{V - V_0}{V_0}$$

但 s …… 收縮限度に於ける水量

ω …… 土壌の含水量

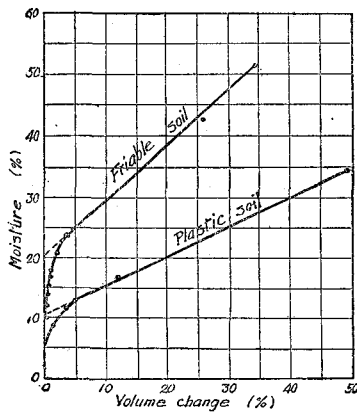
V …… 含水量 ω なる場合の容積

V_0 …… 收縮限度に於ける容積

W …… 收縮限度に於ける重量

此の關係式に依りて含水量容積變化曲線を求むれば直線となり含水量の軸と交るべし。即此の交點は收縮限度を示す。然れども實驗的に求めたる曲線は第十六圖に示すが如

く含水量が或る程度に減少する迄は容積は直線的に縮小するも、收縮限度に近づけば曲線となる。此の原因には種々あらんも土壌が半固態より固態に移る過程は極めて複雑なるのみならず、其の變化は徐々に進行するものなれば



第十一卷九號三十一頁) に示したり。

次に A. O. Rose 氏に依れば路床の良否は主として粘土の含有量に依りて定まり、其の量三〇%以上なるものは不良三〇—二〇%のものを使用に適し、二〇%以下なるものを優良となし、又含水當量と線收縮率とを以て判定の材料と

第十圖 第六圖 其の間に於る組織と水との關係に依るものならん又收縮限度と液性及可塑性限度との關係は第十一圖(本誌

せり。即收縮を非常に重要視して其の量のなるものは路床として不適當なりと云ふに在るも亦收縮量大なるものは其他の點に於ても不適當なる性質を有するもの多ければ路床の性状を考察する一面とも見らるるなり。彼の實驗の結果によれば土壤の收縮率は含水當量に略正比例するものにして之れによりて次の如く分類せり。

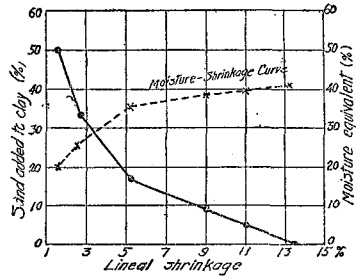


圖 七 十 第

果によれば土壤の收縮率は含水當量に略正比例するものにして之れによりて次の如く分類せり。優良なるもの含水當量二〇%以下線收縮率〇%使用し得るもの線收縮率二〇—三〇%含水當量五・〇%

以下不良なるもの 含水當量三〇%以上 線收縮率五・〇%以上

路床の收縮によりて鋪裝に龜裂を生ずる例としては混凝土鋪裝に於て最も顯著にして、一般に路床は相當に排水設

備ある場合と雖常に多少の水分(毛細管水)を含有するのみならず其の量は收縮限度以上なるを常となすを以て、之れに水が供給され或は發散したる場合には其の水量に應じて容積に變化を生ずべく、殊に未だ充分固結せざる路床に於て著しかるべし。

收縮を起す土壤の處理方法には種々あるも之れに砂を混加する方法、セメント、石灰等を加へる方法、或は路床にタールを塗布するかタール紙の如きを敷く等の方法あり。砂を混加して全土壤中に含まれる粘土の量を減少せしむれば明に收縮率を低下せしめ得るものにして第十七圖に示すが如し。但混加せる砂は中粒砂にして一〇—二〇番篩のもの三三%、二〇—四〇番篩のもの六七%より成るものなり。

路床の凍結

路床内に含まれる水が嚴寒の爲め凍結すれば容積を膨脹し爲めに上部に在る鋪裝を持ち上げ、又砂利道、土砂道等に於ては路面が著しく弛緩するを以て凍結前には良好なりしものも解氷後には甚だしく破損さるるなり。

冬期に於て氷の爲め押し上げられたる鋪裝も春になりて氷が解れば大體元の位置に落ち着くものなれども、たとひ驟起並に歸復が一樣に起るとも全鋪裝が一樣に昇降するが

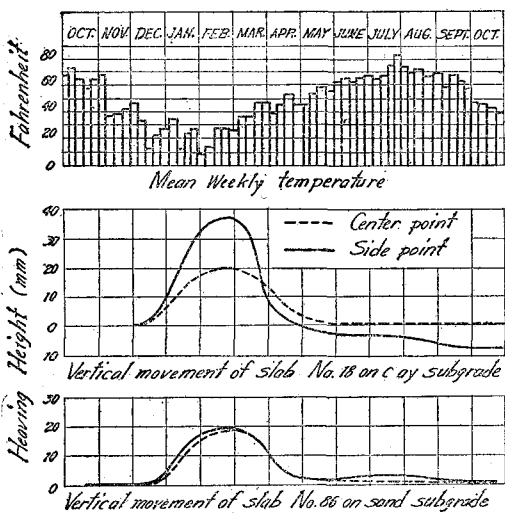


圖 八 十 第

如きこと少なく、其の結果として混凝土鋪裝には必ず龜裂を生ぜしむるものなり。

凍結は最初に路肩又は側溝附近より始まりて順次に中央部に進展し鋪裝と路床との間に氷層を生じ、其の結晶壓の

爲めに路床が丈夫なる場合には鋪裝を押し上げ、路床が軟弱なる場合には之れを破砕すべし、即鋪裝と路床との何れか安定上劣るものが損傷さるるなり。

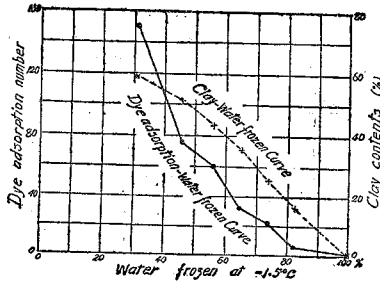
鋪裝が凍結作用によりて押し上げられたる例を擧ぐれば米國オハイオ州に於て一九二五年及六年中の測定によれば押し上げられたる高さ〇・七一八・〇糎、平均一・九糎にして何れも粘土を五〇％内外含む路床に起りたり。

又 J. W. Lowell 氏の測定に依れば混凝土鋪裝の昇降状態は第十八圖に示すが如し。混凝土鋪裝は長さ六〇呎にして兩側には路床水の増減を成る可く防止する目的にて切込壁を設けたるものなり。更に凍結による結果として次の如き事項を認めたり。

- (一) 縦斷龜裂は横斷龜裂に比し多く生ず。
- (二) 鋪裝幅員が一八呎以上ある場合には縦斷龜裂の數は巾員に無關係に生ず。
- (三) 龜裂の發生する箇所は粘土質路床に限らず、砂質又は排水設備のある多孔質路床にも起ることあり。

(四) 固結せる路床と粗鬆なる路床とを比較すれば凍結の被害は前者の方大なり。

(五) 粘土質路床に起る凍結作用は排水設備を施すとも之れを防止すること不可能なり。



第十圖

路床内に含有する水には溜水、毛細管水、結晶水及蒸氣の四種あり。溜水の凍結する温度は一般に零度乃至零下二度なるも鹽類其他のものを溶解する場合には其の量に應じて變化す。次に毛細管水

の氷點は其の含有さるる状態によりて甚だしく相違するものにして通常零下四度乃至七十八度の範圍に在り、又結晶水に在りては零下七十八度以下に非ざれば凍結せざるものなり。第十九圖は零下一・五度に於て凍結する水の割合が粘土の含有量によりて變化する状態を示したるものにして粘

土の量少なきもの程凍結し易き事を示すものなり。而して之に依れば粘土質路床に在りては凍結の被害は砂質のものに比し少なき觀あるも、粘土質路床に在りては其表部が凍結すれば下方より毛細管水が順次に供給さるるを以て立體的には厚き水層を生ずるに反し、砂質路床即毛細管壓力の少なきものにありては下方よりの水の供給少なく且毛細管水の連絡の絶たれ方が比較的速かなるを以て路床と鋪裝との間に生ずる氷層の厚さは極めて薄きものに止まるなり。

鋪裝下に在る路床水が凍結する温度は氣温が相當に下りたる場合なるを以て積雪多き地方よりは寧ろ積雪少なくて寒氣酷しき地方に著しきものにして、路床上に直接鋪裝せしものに在りては充分注意して排水設備を施したる場合と雖凍結すれば多少其の害を蒙るものなれば之れを防止するには、路床の土質に應じて砂利又は碎石を用ひて充分なる厚さを有する褥層を設け、たとひ路床水の凍結することあるも其の結晶壓を褥層内の空隙にて消却せしむるが如き方法あらんも、之れが施工は相當に困難なるべし。